

# Pengontrolan Kecepatan Exhaust Pada Ruang Merokok Berdasar Kendali Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroller AT Mega 16

**Wahyu Surya Putra P.<sup>1)</sup>, Gigih Prabowo<sup>2)</sup>, Indhana Sudiharto<sup>3)</sup>**

1) Jurusan Teknik Elektro Industri PENS-ITS, Surabaya 60111, email:ozienkloemazank@yahoo.com

2) Jurusan Teknik Elektro Industri PENS-ITS, Surabaya 60111

3) Jurusan Teknik Elektro Industri PENS-ITS, Surabaya 60111

**Abstrak** - Sirkulasi udara pada ruang merokok yang dikontrol oleh exhaust secara manual dan berjalan konstan putarannya menjadi salah satu pertimbangan dalam makalah ini. Pengontrolan exhaust secara otomatis bertujuan untuk mendapatkan kondisi udara yang stabil di dalam ruangan sehingga akan mendapatkan kondisi yang lebih nyaman dengan mengidentifikasi kebutuhan udara dan intensitas asap rokok. Referensi suhu normal pada ruangan adalah 27<sup>0</sup>celcius sedangkan setting intensitas asap rokok oleh sensor adalah range antara 0,009 sampai 0,060% vol. Pengontrolan kecepatan exhaust dilakukan berdasarkan metode kendali logika fuzzy. Terdapat empat parameter yang dijadikan input dalam fuzzy yaitu error dan delta error suhu serta error dan delta error asap rokok. Output pengontrolan yang didapatkan adalah saat suhu dan intensitas asap rokok terdeteksi maka putaran exhaust akan menyesuaikan dengan rule base fuzzy yang tersedia untuk mendapatkan kondisi ruangan yang kembali ke set point suhu 27<sup>0</sup>celcius dan intensitas asap rokok 0,009% vol.

**Kata kunci** : Logika Fuzzy, Set Point, Kecepatan Exhaust

## 1. PENDAHULUAN

Kebiasaan orang pada umumnya untuk merokok di area fasilitas umum yang dapat mengganggu kenyamanan para pemakai sarana umum tersebut membuat pemerintah menyediakan ruangan tersendiri untuk para perokok berat. Dan pada umumnya, untuk mengondisikan udara agar tetap terjaga segar di dalam ruangan merokok diperlukan exhaust yang nantinya akan mengatur sirkulasi udara asap rokok dari dalam ruangan keluar. Sedangkan yang terdapat kebanyakan adalah exhaust bekerja dengan kontrol manual tanpa adanya pengaturan otomatis sehingga memiliki kecepatan putar yang konstan pada nilai tertentu untuk mengatur sirkulasi udaranya. Tanpa mendeteksi kebutuhan atau kondisi udara sebenarnya yang diinginkan oleh ruangan tersebut.

Dalam tugas akhir ini dicoba untuk membuat system pengaturan untuk mengontrol kecepatan exhaust secara otomatis sehingga didapatkan output pengondisian udara yang lebih stabil sesuai dengan kondisi suhu dan intensitas asap yang ada di dalam

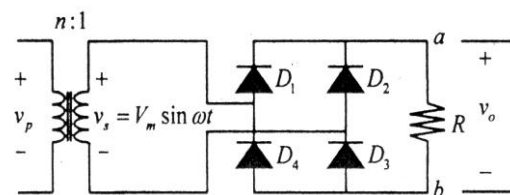
ruangan dengan menggunakan kontroler logika fuzzy untuk mendapatkan output yang sesuai dengan yang diinginkan oleh system.

Pada penerapan teknologinya menggunakan aplikasi mikrokontroller AT Mega16 yang akan mendapat input masukan dari nilai sensor suhu dan sensor asap sebelumnya. Pengaturan kecepatan dilakukan dengan switching gelombang PWM pada inverter yang nantinya juga akan menerapkan metode logika fuzzy. Sedangkan feedback kecepatan dari exhaust akan disensing oleh phototransistor optocoupler untuk monitoring kecepatan exhaust. Sehingga dengan dirancangnya sistem tersebut kemampuan adaptasi terhadap kondisi ruangan yang tidak stabil diharapkan mampu dicapai dengan mengontrol kecepatan dari exhaust.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa

Rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa merupakan proses penyearahan gelombang sehingga diperoleh bentuk gelombang yang searah. Umumnya proses tersebut menggunakan penyearah fullbridge atau model jembatan dimana dengan memasang empat buah diode sebagai saklar atau switch untuk mengatur arah aliran gelombang ke output beban seperti pada gambar 1 berikut.



Gambar 1: Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa

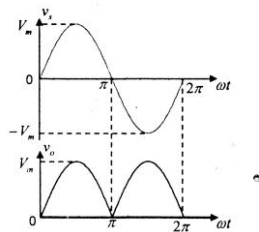
Nilai tegangan rata-rata dari beban ( $V_o = V_{dc}$ ) dapat dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 V_{dc} &= \frac{1}{T} \int_0^T V_o dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{1}{2\pi} \left[ \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t d\omega t + \int_{\pi}^{2\pi} -V_m \sin \omega t d\omega t \right] \\
 &= \frac{V_m}{2\pi} \left[ \left[ -\cos \omega t \right]_0^{\pi} + \left[ \cos \omega t \right]_{\pi}^{2\pi} \right] = \frac{V_m}{2\pi} \left[ \left[ -\cos \pi - (-\cos 0) \right] + \left[ \cos 2\pi - \cos \pi \right] \right] \\
 &= \frac{V_m}{2\pi} \left[ \left[ 1 - (-1) \right] + \left[ 1 - (-1) \right] \right] = \frac{V_m}{2\pi} \left[ 2 + 2 \right] = \frac{2V_m}{\pi}
 \end{aligned}$$

$$= 0,636V_m \quad \dots\dots \text{persamaan (1)}$$

Nilai tegangan rms dari beban ( $V_L$  rms) dapat dihitung dengan rumus setelah menggunakan filter C :

$$V_{dc} = \frac{V_m}{4\sqrt{2}fRC} \quad \dots\dots \text{persamaan (2)}$$



Gambar 2: Bentuk Gelombang Tegangan Input-Output

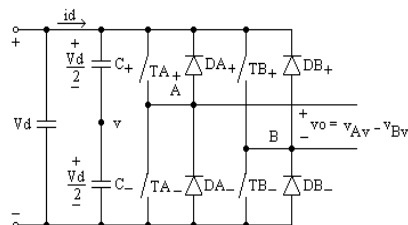
Sehingga dapat dicari nilai rata-rata arus beban ( $I_{ave}$ ) dan nilai arus rms beban ( $I_L$  rms),

$$I_{ave} = \frac{V_{ave}}{R}$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} \quad \dots\dots \text{persamaan (3)}$$

## 2.2 Inverter Satu Fasa Metode Jembatan

Full Bridge inverter ditunjukkan pada gambar 3. Inverter ini terdiri dari 2 pasang inverter tipe half bridge dan lebih banyak digunakan untuk rating daya besar. Dengan tegangan input dc yang sama, tegangan output maksimum menjadi dua kali dari half bridge inverter.



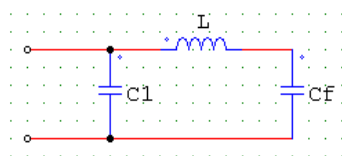
Gambar 3: Rangkaian Full Bridge Inverter Satu Fasa

Tegangan luaran rms dari gambar 3 bisa didapatkan dengan persamaan :

$$v_o = \left[ \frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} V_s^2 dt \right]^{1/2} = V_s \quad \dots\dots \text{persamaan (4)}$$

## 2.3 Filter Pasif

Rangkaian dasar dari filter pasif dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4: Filter Pasif  $\pi$ Type (Filter CLC)

Dari Gambar 4 di atas, maka dapat dicari nilai dari komponen filternya dari persamaan di bawah ini:

$$X_L = n \cdot \omega_o \cdot f_o \cdot L_f$$

$$= n \cdot 2\pi \cdot f_o \cdot L_f$$

$$X_C = \frac{1}{n \cdot 2\pi \cdot f_o \cdot C} \quad \dots\dots \text{persamaan (5)}$$

Sedangkan impedansi dari tegangan harmonisa ke-n dapat dicari dengan rumus:

$$\|Z_n\| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\|Z_n\| = 10 \cdot X_{Cf} \quad \dots\dots \text{persamaan (6)}$$

Sehingga nantinya dapat dicari nilai dari dari komponen  $C_f$  dengan menggunakan rumus:

$$\|X_{Cf}\| = \frac{1}{2\pi \cdot n \cdot f_o \cdot C_f} \quad \dots\dots \text{persamaan (7)}$$

Dimana:  $n$  = harmonisa ke- $n$   
 $f_o$  = frekuensi inverter  
 $L_f$  = inductive filter  
 $C_f$  = capacitive filter

## 2.4 Teori Himpunan Fuzzy

Teori himpunan fuzzy ini didasarkan pada logika fuzzy. Terdapat nilai logika antara 0 dan 1 yang menyatakan tingkat kebenaran. Misalkan  $V$  adalah kumpulan obyek yang secara umum dinyatakan dengan  $\{v\}$ , yang bisa berharga diskrit atau kontinyu.  $V$  disebut semesta pembicaraan (*universe of discourse*), dan  $v$  mewakili elemen-elemen  $V$ . Suatu himpunan fuzzy  $A$  dalam semesta pembicaraan  $V$  dapat dinyatakan oleh suatu fungsi keanggotaan  $\mu_A$  (*membership function*) yang mewakili nilai dalam interval nilai logika  $[0,1]$  untuk setiap  $v$  dalam  $V$  dan dinyatakan sebagai :

$$\mu_A = V \rightarrow [0,1] \quad \dots\dots \text{persamaan (8)}$$

Yang dapat digambarkan dalam bentuk seperti terlihat pada Gambar 5,



Gambar 5: Himpunan Fuzzy dan Keanggotaan

Semua elemen  $v$  dalam  $V$  memberikan nilai  $\mu_A > 0$  disebut sebagai penyokong (*support*) dari himpunan fuzzy yang bersangkutan, jika  $\mu_A = 0.5$  maka  $v$  disebut sebagai titik silang (*crossover*) dan himpunan fuzzy dimana penyokongnya bernilai 1.0 disebut sebagai fuzzy tunggal (*singleton*).

### 2.4.1 Logika Fuzzy

Dalam logika fuzzy ada dua kaidah atur simpulan fuzzy yang penting, yaitu GMP (*Generalized Modus*

Ponens) dan GMT (*Generalized Modus Tollens*), yang di definisikan sebagai berikut:

GMP :

premis 1 :  $x$  is  $A'$

premis 2 : if  $x$  is  $A$  then  $y$  is  $B$

konsekuen :  $y$  is  $B'$ .

Jika terdapat  $B = A \circ R$  maka berlaku  $B' = A' \circ R$ .

GMT :

premis 1 :  $y$  is  $B'$

premis 2 : if  $x$  is  $A$  then  $y$  is  $B$

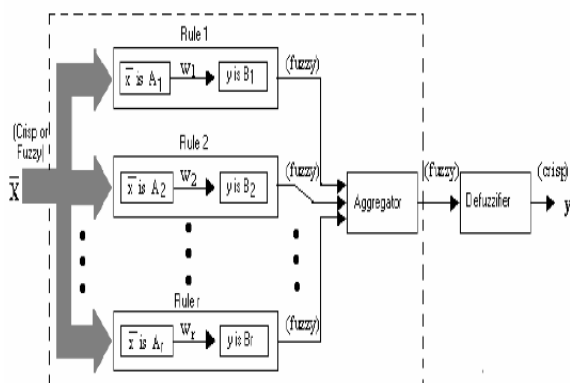
konsekuen :  $x$  is  $A'$ .

Jika terdapat  $B = A \circ R$  maka berlaku  $A' = R \circ B'$ .

## 2.4.2 Sistem Inferensi Fuzzy

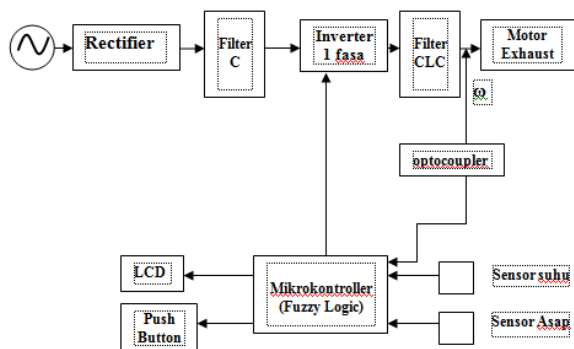
Sistem Inferensi Fuzzy adalah sistem kerja komputer yang didasarkan pada konsep teori fuzzy, aturan fuzzy *if-then*, dan logika fuzzy. Struktur dasar dari sistem Inferensi Fuzzy terdiri dari:

- Basis aturan yang berisi aturan *if-then*.
- Basis data yang mendefinisikan fungsi keanggotaan dari himpunan fuzzy.
- Unit pengambilan keputusan yang menyatakan operasi inferensi aturan-aturan.
- Fuzzifikasi yang mentransformasi masukan himpunan klasik (crisp) ke derajat tertentu yang sesuai dengan aturan besaran fungsi keanggotaan.
- Defuzzifikasi yang mentransformasi hasil fuzzy ke bentuk keluaran yang crisp.



Gambar 6: Blok Diagram Sistem Inferensi Fuzzy

## 3. RANCANGAN SISTEM



Gambar 7: Blok Diagram Sistem

Dari Gambar 7 diatas dapat dilihat bahwa perencanaan dan pembuatan system pengontrolan kecepatan exhaust untuk pengondisian udara pada ruang merokok berdasar kendali logika fuzzy berbasis mikrokontroller AT Mega 16 meliputi rangkaian sensing berupa sensor suhu LM35 dan sensor asap rokok AF-30, rangkaian Rectifier dan Inverter Satu Fasa serta rangkaian sensing kecepatan menggunakan optocoupler U sebagai pembanding apakah kecepatan dari exhaust berjalan sesuai dengan yang dikehendaki oleh sistem. Pada rangkaian inverter menggunakan mikrokontroller AT Mega 16 sebagai pembangkit pulsa PWM-nya dan pengendali Fuzzy sebagai pengendali kecepatan dari exhaust untuk mendapatkan system yang stabil.

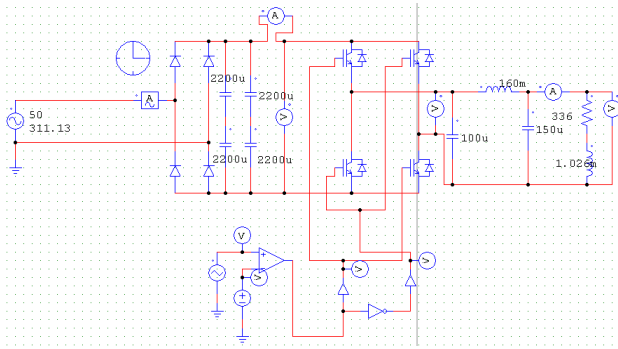
Dalam sistem ini, sumber jala-jala disearahkan melalui rangkaian rectifier satu fasa dari tegangan 220 Vac menjadi 220 Vdc yang digunakan sebagai tegangan input dari inverter. Output tegangan dari inverter sebagai supply exhaust sebesar 220 Vac.

Untuk membangkitkan pulsa PWM dari rangkaian inverter digunakan mikrokontroler AT Mega 16. Selain itu mikrokontroler ini juga mendapat input data dari 2 buah sensor yaitu sensor suhu dan sensor asap rokok yang nantinya akan dibandingkan sebagai masukan membership function pada logika fuzzy yang digunakan. Input suhu dibagi menjadi 3 range yaitu suhu rendah ( $20^{\circ}\text{C}$ -  $25^{\circ}\text{C}$ ), suhu sedang ( $26^{\circ}\text{C}$ - $30^{\circ}\text{C}$ ) dan suhu tinggi ( $31^{\circ}\text{C}$ - $40^{\circ}\text{C}$ ) sedangkan untuk input asap rokok dibagi menjadi 3 range yaitu range rendah (0,006% vol), sedang (0,040% vol), dan pekat (0,090 % vol ke atas). Pemrograman logika fuzzy juga dilakukan pada mikrokontroller. Logika fuzzy tersebut akan menjadi pengontrol dari performa kerja sistem sehingga dapat menghasilkan sistem yang adaptif terhadap perubahan kondisi pada smooking room. Dalam hal ini, performa kerja dari system dipengaruhi oleh input yang berubah-ubah. Output kecepatan pada exhaust terbagi dalam 5 range yaitu kecepatan lambat (5Hz), agak lambat (15Hz), sedang (25Hz), agak cepat (35Hz), dan cepat (45Hz).

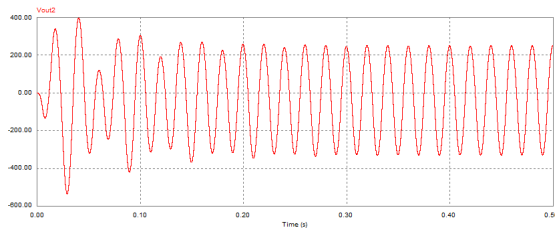
## 4. HASIL PENELITIAN MELALUI SIMULASI

### 4.1 Penyearah, Inverter Satu Fasa dan Filter Pasif

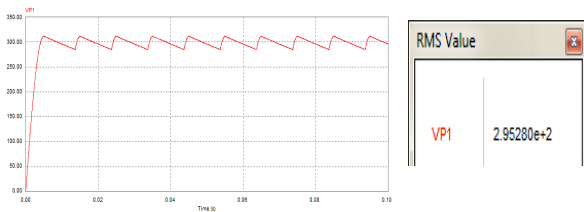
Berikut ini adalah simulasi rangkaian rectifier, inverter satu fasa dan filter pasif dengan  $V_{in} = V_{jala-jala}$  yaitu 220 Vac.



Gambar 8: Simulasi Rangkaian Rectifier, Inverter dan Filter Pasif



Gambar 9: Gelombang Tegangan Output Pada Beban Setelah Filter Pasif



Gambar 10: Gelombang Tegangan Output Rectifier

Dari data simulasi di atas didapatkan sebelumnya perhitungan/perancangan filter pasif(filter CLC) yaitu menentukan komponen  $C_f$  melalui persamaan filter yang telah dijelaskan sebelumnya.

Parameter-parameter komponen filter berupa nilai  $C_1$ ,  $L_1$ ,  $R$  dan  $L_{\text{beban}}$  ditentukan sebagai berikut:

- $C_1=100\mu\text{F}$
- $L_1=160\text{mH}$
- $R=336\Omega$
- $L_{\text{beban}}=1,026\text{mH}$

Nilai komponen dari filter pasif (filter CLC) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad XL &= n.2\pi.f_o.L_f \\
 &= 3.2\pi.2\pi.250.10^{-3} \\
 &= 235,5 \quad \dots\dots \text{persamaan (9)} \\
 \bullet \quad XL &= \frac{1}{n.2\pi.f_o.C} \\
 &= \frac{1}{3.2\pi.2\pi.500.10^{-6}} \\
 &= 10,615 \quad \dots\dots \text{persamaan (10)}
 \end{aligned}$$

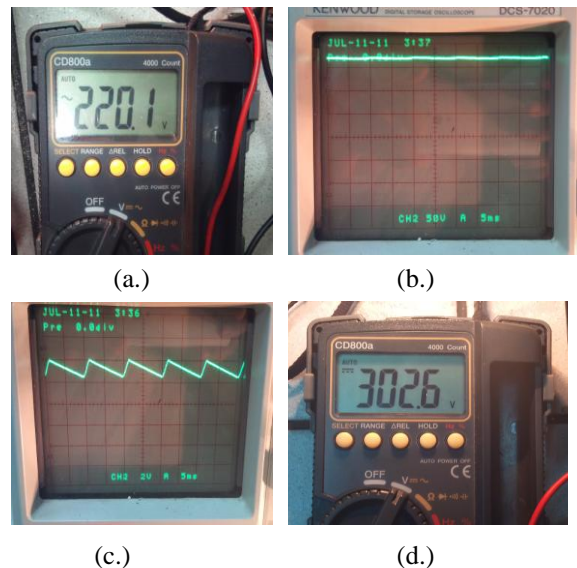
$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \|Z_n\| &= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \\
 &= \sqrt{60^2 + (35,5 - 10,615)^2} \\
 &= \sqrt{3600 + 50573,2632} \\
 &= 232,75 \quad \dots\dots \text{persamaan (11)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \|Z_n\| &= 10.X_{Cf} \\
 X_{Cf} &= \frac{\|Z_n\|}{10} \\
 &= \frac{232,75}{10} \\
 &= 23,275 \quad \dots\dots \text{persamaan (12)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \|X_{Cf}\| &= \frac{1}{2\pi.n.f_o.C_f} \\
 C_f &= \frac{1}{2\pi.3.50.2,275} \\
 C_f &= 150\mu\text{F} \quad \dots\dots \text{persamaan (13)}
 \end{aligned}$$

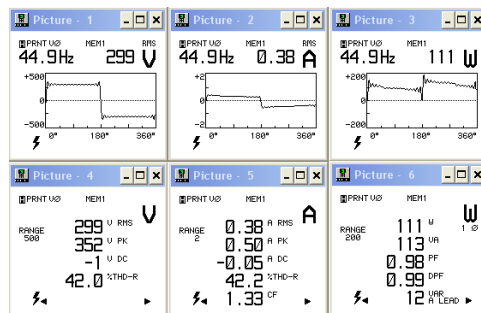
Maka dapat diketahui bahwa untuk nilai komponen  $C_f$  pada filter pasif sebesar 150uF.

Berikut merupakan data pengujian integrasi penyearah dan inverter satu fasa dengan beban lampu 100W 220 Volt,



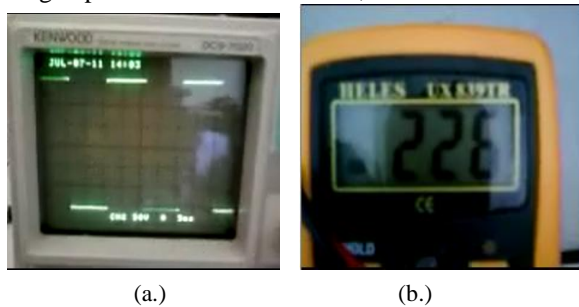
Gambar 11: (a.)Supply Tegangan AC Pada Input, (b.)Gelombang Output DC Penyearah, (c.)Gelombang Ripple Pada Output, (d.)Tegangan Output DC Rectifier

Berikut pengujian dengan setting frekuensi 45 Hz,



Gambar 12: Data Tegangan , Arus dan Daya Output

Data berikut merupakan pengujian integrasi sistem dengan plant exhaust fan 75 Watt,



Gambar 13: (a.)Gelombang Output Inverter dengan Beban Exhaust 75 Watt 220 Volt, (b.)Tegangan Output Inverter

#### 4.2 Pengujian Sensor Suhu LM35 dan Sensor Asap GSAP61

Untuk pengujian sensor LM35 dilakukan pengmabilan data mulai dari 20°C sampai 49°C yang disesuaikan dengan kondisi suhu ruangan sebenarnya. Record data yang dihasilkan akan diolah pada ADC untuk menjadi parameter input pada fuzzy. Output tegangan dari sensor akan disampling menjadi beberapa range jika output tegangan yang dihasilkan tidak linier. Gambar 14 berikut merupakan gambar dari pengujian sensor suhu LM35,



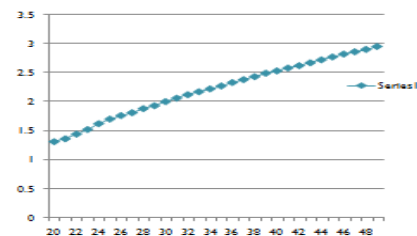
Gambar 14: Pengujian Sensor Suhu LM35

Output tegangan sensor yang dihasilkan memiliki nilai maksimal 5 Volt seperti pada tabel 1.

Tabel 4.2 Tabel Output Tegangan Sensor Suhu LM35

Suhu (°C)	Vout (V)	34°	2,23
20°	1,32	35°	2,28
21°	1,37	36°	2,34
22°	1,45	37°	2,39
23°	1,53	38°	2,44
24°	1,63	39°	2,50
25°	1,71	40°	2,54
26°	1,77	41°	2,59
27°	1,82	42°	2,63
28°	1,89	43°	2,68
29°	1,94	44°	2,73
30°	2,01	48°	2,91
31°	2,07	49°	2,96
32°	2,13		
33°	2,18		

Kelinieritasan dari sensor suhu LM35 dapat dilihat dengan membuat grafik dari output tegangan sensor seperti pada gambar 15 berikut,



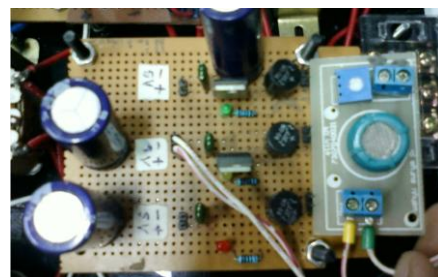
Gambar 15: Grafik Output Tegangan Sensor Suhu LM35

Berikut merupakan display data suhu ruangan yang terdeteksi oleh sensormLM35 pada LCD 2x16 seperti yang ditunjukkan pada gambar 16,



Gambar 16: Display Suhu Pada LCD

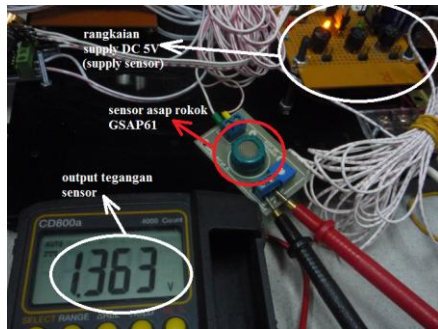
Sedangkan untuk pengujian sensor asap rokok GSAP61 menggunakan kalibrator pengukur kepekatan gas CO yaitu STARGAS 898 dengan data pengujian sebagai berikut,



Gambar 17: Rangkaian Asap Rokok GSAP61 beserta Supply DC 5 Volt

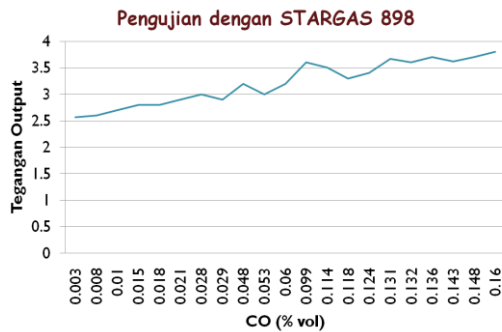


Berikut merupakan data output tegangan sensor GSAP61 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18,



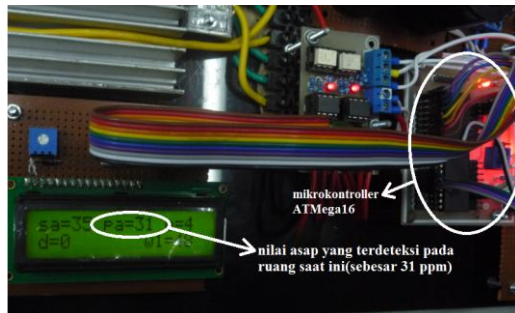
Gambar 18: Pengujian Sensor Asap Rokok GSAP61

Dari data tegangan output yang dihasilkan dapat dilihat pada grafik dibawah ini,



Gambar 19: Grafik Output tegangan sensor asap rokok

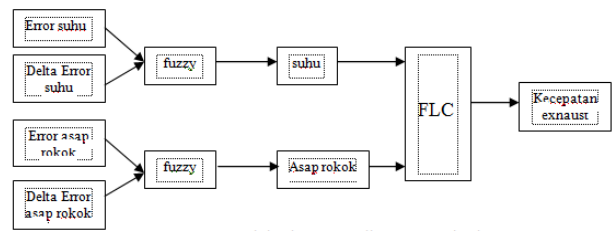
Berikut merupakan data display penunjukan kepekatan asap rokok pada LCD,



Gambar 20: Display Data Asap pada LCD

### 4.3 Fuzzy Logic Controller

Data input pada Kontrol Logika Fuzzy yang digunakan adalah data berupa error dan delta error suhu serta error dan delta error asap rokok di dalam ruangan seperti pada blok diagram berikut.



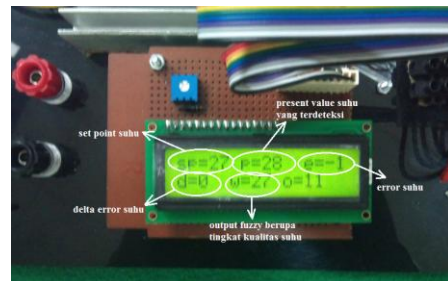
Gambar 21: Blok Diagram Sistem fuzzy

Fuzzifikasi error dan delta error suhu menghasilkan output berupa tingkat kualitas suhu di dalam ruangan yang memiliki range  $20^{\circ}\text{C}$ - $40^{\circ}\text{C}$ . Proses penentuan jumlah membership function error dan delta error suhu menjadi langkah pertama dalam proses fuzzy yang digunakan. Dilanjutkan dengan menyusun rule base dari system seperti yang dapat dianalisa pada tabel 2,

Tabel 2. Analisa Rule Base Fuzzy Error dan Delta Error Suhu

e \ de	NB	NM	NS	Z	P
N	T	T	AT	S	AR
Z	T	AT	S	AR	R
P	T	AT	S	AR	R

Sedangkan data dari output fuzzy dengan input error dan delta error suhu dapat dilihat pada display LCD seperti pada gambar berikut,



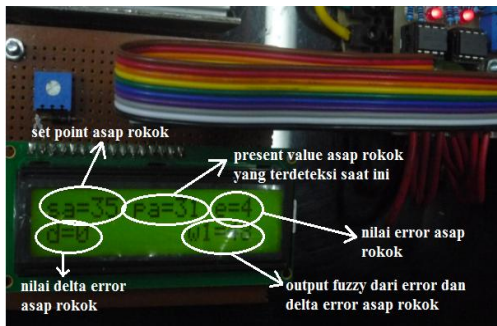
Gambar 22: Display Output Fuzzy Error dan delta error suhu

Untuk input error dan delta error asap rokok memiliki jumlah membership function yang sama. Penentuan jumlah membership function antara error dan delta error asap rokok dilakukan untuk mempermudah analisa output fuzzy namun memiliki kelemahan yaitu output fuzzy yang dihasilkan kurang presisi dikarenakan jumlah membership function yang sedikit. Berikut merupakan analisa rule base error dan delta error asap rokok seperti pada tabel 3 berikut,

Tabel 3. Analisa Rule Base Fuzzy Error dan Delta Error Asap Rokok

de \ e	N	Z	P
N	P	P	S
Z	P	S	R
P	S	R	R

Sedangkan data dari output fuzzy dengan input error dan delta error asap rokok dapat dilihat pada display LCD seperti pada gambar berikut,



Gambar 23: Display Output Fuzzy Pada LCD

Sehingga dari output error dan delta error suhu berupa tingkat kualitas suhu serta output dari error dan delta error asap rokok berupa tingkat kualitas ruang terhadap asap rokok dapat difuzzifikasikan dan dapat diketahui output dari fuzzy seperti pada tabel 4 di bawah ini,

Tabel 4. Analisa Output Fuzzy dari Kecepatan Exhaust

<del>suhu</del> asap	R	AR	S	AT	T
R	L	L	AL	S	AC
S	AL	S	S	AC	C
P	S	AC	AC	C	C

Berikut data dari output fuzzy keseluruhan (tingkat akhir) yang dapat ditampilkan pada LCD,



Gambar 24: Output Fuzzy Kecepatan

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi pengontrolan kecepatan exhaust berdasar kendali logika fuzzy diatas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Output tegangan inverter setelah difilter dengan filter pasif (filter CLC) adalah sebesar 236 volt.
- Dari data dua input/masukan pada fuzzy logic berupa suhu dan intensitas asap rokok didapatkan lima range output kecepatan exhaust.
- Dari data input suhu dan intensitas asap rokok yang berubah-ubah didapatkan output kecepatan exhaust yang stabil menggunakan logika control fuzzy dengan mengembalikan kondisi ruang pada suhu 27<sup>0</sup> celcius dan batas asap minimal 0,006% vol.

## DAFTAR REFERENSI

- [1] "Solving the Optimal PWM Problem for Single-Phase Inverters" by Dariusz Czarkowski, Member, IEEE, David V. Chudnovsky, Member, IEEE, Gregory V. Chudnovsky, and Ivan W. Selesnick, Member, IEEE.
- [2] Single Phase Inverter & Switching Techniques ,Dr. Ir. Mochamad Ashari. M.Eng. Dept. of Electrical Engineering Institute of Technology Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
- [3] Single Phase Rectifier , Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng., Dept. of Electrical Engineering Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS) Surabaya
- [4] FUZZY LOGIC-AN INTRODUCTION" by Steven D.kaehler.
- [5] "Teknik Perbaikan Kualitas Daya Pada Pembangkit Tenaga Hybrid Dengan Menggunakan Pasif", Yahya Chusna Arif dan Indhana Sudiharto, Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember(ITS) Surabaya.